



Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Pożarnictwa, Oddział Leszno
Komenda Powiatowa PSP w Kościanie.
J.P.PROJEKT Jacek Podyma Poznań

Uproszczona ocena nośności ogniowej elementów stalowych wg PN-EN 1993-1-2

Opracował:
mgr inż. Łukasz POLUS



Plan prezentacji

- Wprowadzenie
- Uproszczona ocena nośności ogniowej elementów stalowych
- Przykłady obliczeniowe elementów w warunkach pożaru

Wprowadzenie

Uproszczona ocena nośności
ogniowej elementów stalowych

Przykłady obliczeniowe elementów
w warunkach pożaru

WPROWADZENIE

Wprowadzenie Eurokodów



określanie nośności ogniowej stalowych elementów jak i ich połączeń

Wymagana:

- dobra znajomość zasad obliczania elementów w warunkach normalnych
- podstawowa wiedzy z projektowania konstrukcji w warunkach pożarowych

Podstawowe pojęcia

- **Temperatura krytyczna** – temperatura, po osiągnięciu której element (połączenie) ulegnie zniszczeniu
- **Czas odporności ogniowej** – czas przez jaki element (połączenie) pełni funkcję nośną
- **Nośność ogniowa** – obszar odporności ogniowej związany z czasem odporności ogniowej, oznaczana symbolem R oraz liczbą, odpowiadającą minutom, przez które element (połączenie) nie ulegnie zniszczeniu podczas pożaru

Nośność ogniową R ustala się poddając elementy działaniu:

- pożaru standardowego w badaniu laboratoryjnym lub przeprowadzając obliczenia – kryterium R np. R 60 i/lub
- pożaru węglowodorowego – kryterium R HC np. R 60 HC.

- Wraz ze wzrostem temperatury obniżają się właściwości mechaniczne stali węglowych
- Moduł sprężystości stali maleje szybciej (ulega obniżeniu przy temperaturze powyżej 100°C) niż granica plastyczności (ulega obniżeniu przy temperaturze powyżej 400°C).
- Analizując element w warunkach pożarowych, po określeniu jego temperatury określa się właściwości mechaniczne stali, redukując granicę plastyczności i moduł sprężystości korzystając ze współczynników redukcyjnych, które w przypadku stali węglowych zależą jedynie od temperatury elementu.

Θ_a [°C]	$k_{y,\Theta}$ [-]	$k_{E,\Theta}$ [-]
20	1,000	1,000
100	1,000	1,000
150	1,000	0,950
200	1,000	0,900
250	1,000	0,850
300	1,000	0,800
350	1,000	0,750
400	1,000	0,700
450	0,890	0,650
500	0,780	0,600
550	0,625	0,455
600	0,470	0,310
650	0,350	0,220
700	0,230	0,130
750	0,170	0,110
800	0,110	0,090
850	0,085	0,078
900	0,060	0,067
950	0,050	0,056
1000	0,040	0,045
1050	0,030	0,033
1100	0,020	0,022
1150	0,010	0,112
1200	0,000	0,000

Wprowadzenie

**Uproszczona ocena nośności
ogniowej elementów stalowych**

Przykłady obliczeniowe elementów
w warunkach pożaru

UPROSZCZONA OCENA NOŚNOŚCI OGNIOWEJ ELEMENTÓW STALOWYCH

Uproszczona ocena nośności ogniowej elementów stalowych wg PN-EN 1993-1-2

1. **Dotyczy analizy elementów** (np. belki swobodnie podpartej w stropie stalowym) w warunkach pożarowych (nie dotyczy analiza podukładu konstrukcji).
2. **Stosowana, gdy można wydzielić element z całej konstrukcji**, a wpływ interakcji między elementami można uwzględnić w sposób pośredni.

W omawianej analizie, element konstrukcji zostaje oceniony przez rozpatrzenie go w całkowitym oddzieleniu od innych elementów.

Połączenie z innymi elementami zostaje zastąpione przez odpowiednie warunki brzegowe.

Uproszczona ocena nośności ogniowej elementów stalowych wg PN-EN 1993-1-2

3. Polega na

- **wyznaczeniu efektów oddziaływań w czasie $t=0$** tzn. na początku pożaru, gdy pośrednie oddziaływania wywołane pożarem wynoszą 0,0.

Efekty oddziaływań wyznacza się:

od wyjątkowej kombinacji obciążeń lub

redukując wartość siły normalnej, tnącej czy momentu zginającego wyznaczonego na podstawie podstawowej kombinacji oddziaływań współczynnikiem η_{fi}

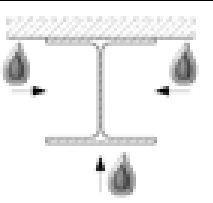
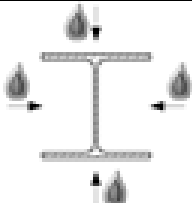
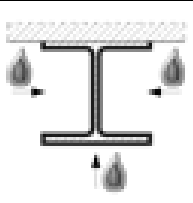
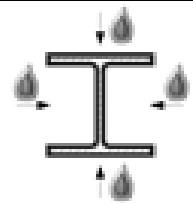
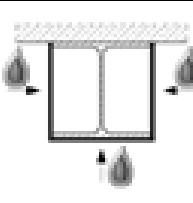
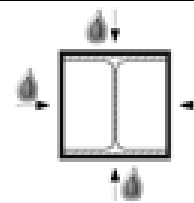
Uproszczona ocena nośności ogniowej elementów stalowych wg PN-EN 1993-1-2

3. Polega na

- wyznaczeniu wskaźnika ekspozycji przekroju na podstawie tablic

Wskaźnik ekspozycji przekroju (A_m/V), wskaźnik masywności przekroju (U/A) – w przypadku elementu **nieosłoniętego** - iloraz pola powierzchni eksponowanej i objętości stali (częściej używany jest **iloraz obwodu ogrzewanej części przekroju i pola przekroju elementu stalowego**), w przypadku elementu **obudowanego** – iloraz pola wewnętrznej powierzchni eksponowanej obudowy i objętości stali (częściej używany jest **iloraz obwodu wewnętrznego obudowy i pola przekroju elementu stalowego**)

Wskaźnik ekspozycji przekroju na podstawie tablic

	Przekrój niezabezpieczony		Przekrój zabezpieczony			
			Obwodowo		Skrzynkowo	
						
Przekrój	Narażony na pożar z					
IPE	3 stron	4 stron	3 stron	4 stron	3 stron	4 stron
	$k_{eff} A_m/V$		A_p/V			
IPE AA 80	288	354	442	515	320	393
IPE A 80	285	350	437	509	317	389
IPE 80	243	297	369	429	270	330
IPE AA 100	263	321	398	463	292	357
IPE A 100	257	313	388	452	285	348
IPE 100	223	271	335	387	248	301
IPE AA 120	251	304	380	442	279	338
IPE A 120	245	297	371	428	272	330
IPE 120	207	251	312	360	230	279
IPE AA 140	243	295	369	426	270	328
IPE A 140	234	283	354	409	260	314
IPE 140	194	234	291	335	215	260

Uproszczona ocena nośności ogniowej elementów stalowych wg PN-EN 1993-1-2

3. Polega na

- wyznaczeniu temperatury elementu zabezpieczonego lub niezabezpieczonego na podstawie tablic

Temperatura nieosłoniętego elementu wystawionego na działanie pożaru wg krzywej pożarowej ISO 834 dla różnych wartości $k_{sh} \cdot A_m / V$ [m⁻¹] na podstawie tablic

Czas [min]	10 [m ⁻¹]	15 [m ⁻¹]	20 [m ⁻¹]	25 [m ⁻¹]	30 [m ⁻¹]	40 [m ⁻¹]	60 [m ⁻¹]	100 [m ⁻¹]	200 [m ⁻¹]	300 [m ⁻¹]	400 [m ⁻¹]
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
1	21	22	23	24	24	26	29	34	48	61	73
2	25	27	29	31	33	38	46	62	100	133	162
3	29	33	37	41	45	53	68	97	161	214	259
4	33	40	46	52	59	71	94	136	226	296	351
5	39	48	57	65	74	90	122	178	291	373	430
6	45	57	68	79	90	111	151	221	354	441	494
7	51	66	80	94	108	133	181	265	413	498	545
8	58	76	93	110	126	156	213	308	466	545	584
9	65	86	106	126	144	180	245	351	512	583	615
10	73	97	120	142	164	204	277	392	552	614	640
11	80	108	134	159	183	229	309	432	587	640	660
12	88	119	149	177	204	253	340	469	616	662	678
13	97	131	164	195	224	278	372	503	641	680	693
14	105	143	179	213	244	303	402	535	663	695	705
15	114	155	194	231	265	328	432	565	682	708	716

Temperatura osłoniętego elementu wystawionego na działanie pożaru wg krzywej pożarowej ISO 834 dla różnych wartości $\frac{A_p}{V} \frac{\lambda_p}{d_p} \left[\frac{W}{m^3 K} \right]$ na podstawie tablic

Czas [min]	100 $\left[\frac{W}{m^3 K} \right]$	200 $\left[\frac{W}{m^3 K} \right]$	300 $\left[\frac{W}{m^3 K} \right]$	400 $\left[\frac{W}{m^3 K} \right]$	600 $\left[\frac{W}{m^3 K} \right]$	800 $\left[\frac{W}{m^3 K} \right]$	1000 $\left[\frac{W}{m^3 K} \right]$	1500 $\left[\frac{W}{m^3 K} \right]$	2000 $\left[\frac{W}{m^3 K} \right]$
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	24	27	31	35	41	48	55	71	86
10	29	38	46	54	70	85	100	133	164
15	35	49	62	75	100	123	145	194	237
20	41	61	79	97	130	160	189	251	305
25	47	72	96	118	159	197	231	305	366
30	54	84	113	140	188	232	271	354	421
35	60	97	130	161	216	266	309	400	470
40	67	109	147	181	244	298	346	442	514
45	74	121	163	202	270	329	380	481	554
50	80	133	179	222	296	359	413	516	589
55	87	145	196	241	321	387	443	549	621
60	94	156	211	261	345	414	472	578	650
65	100	168	227	279	368	440	499	606	676
70	107	180	242	298	391	465	525	631	699
75	114	191	258	316	412	488	549	655	717
80	120	202	273	333	433	510	571	676	729
85	127	214	287	350	453	531	592	695	735
90	134	225	302	367	472	552	612	712	742

Uproszczona ocena nośności ogniowej elementów stalowych wg PN-EN 1993-1-2

3. Polega na

- Ustaleniu temperatury krytycznej w sposób uproszczony lub iteracyjny

Temperaturę krytyczną elementu można określić **w sposób uproszczony**, gdy:

- element nie jest narażony na zjawiska niestateczności tzn. nie można temperatury krytycznej liczyć w sposób uproszczony dla elementu o przekroju klasy 4, elementu narażonego na wyboczeniu lub zwichrzenie.
- zakłada się w elemencie równomierny rozkład temperatury
- element wykonany jest ze stali węglowej.

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \ln \left(\frac{1}{0,9674 \mu_0^{3,833}} - 1 \right) + 482$$

Uproszczona ocena nośności ogniowej elementów stalowych wg PN-EN 1993-1-2

3. Polega na

- Ustaleniu temperatury krytycznej w sposób uproszczony lub iteracyjny

Temperaturę krytyczną elementu można określić **w sposób iteracyjny**:

Wyznacza się obciążenia w warunkach pożarowych, siły wewnętrzne, przyjmuje się temperaturę, określa i sprawdza się nośność elementu w tej temperaturze. Za temperaturę krytyczną przyjmuje się tą, w której wyężenie elementu wynosi 0,90 – 1,0. W celu zminimalizowania liczby iteracji, można pierwszą temperaturę przyjąć na podstawie wzoru z metody uproszczonej (temperatura krytyczna będzie nieco niższa).

Uproszczona ocena nośności ogniowej elementów stalowych wg PN-EN 1993-1-2

3. Polega na

- Ustaleniu temperatury krytycznej w sposób uproszczony lub iteracyjny

Komentarz: *Konserwatywnie można przyjąć dla wszystkich elementów o przekroju klasy 1, 2 lub 3 temperaturę krytyczną równą 500°C . Dla elementów o przekroju klasy 4 przyjmują się temperaturę krytyczną równą 350°C .*

Uproszczona ocena nośności ogniowej elementów stalowych

wg PN-EN 1993-1-2

3. Polega na

- Sprawdzenie nośności ogniowej elementu (jeżeli temperatura elementu w pożarze jest mniejsza niż jego temperatura krytyczna to nośność ogniowa jest spełniona)
- Dobraniu zabezpieczenia ogniochronnego (temperatura krytyczna wpływa na grubość warstwy zabezpieczenia, im niższa temperatura krytyczna, tym grubsze zabezpieczenie)
- Określeniu czasu odporności ogniowej (znając temperaturę krytyczną elementu określa się po jakim czasie od początku pożaru osiągnie ją element)

Wprowadzenie

Uproszczona ocena nośności
ogniowej elementów stalowych

**Przykłady obliczeniowe elementów
w warunkach pożaru**

PRZYKŁADY OBLICZENIOWE ELEMENTÓW W WARUNKACH POŻARU

Przykład wyznaczania temperatury krytycznej i czasu odporności ogniowej 4-ro metrowej belki o przekroju IPE 300, która jest elementem podpierającym strop w obiekcie biurowym.

Dane:

obciążenie stałe belki w warunkach pożarowych z uwzględnieniem ciężaru własnego wynosi 6kN/m, a zmienne 12kN/m

stal S235JR o $f_y = 235$ MPa

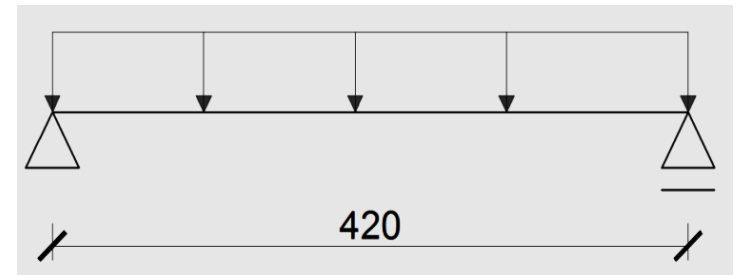
$$\gamma_{M0} = 1,0, \gamma_{M,fi} = 1,0$$

długość belki w świetle ścian wynosi 4,0 m

rozpiętość obliczeniowa belki: 4,2m

belka znajduje się w obiekcie biurowym i ma przekrój IPE 300

belka nie jest zabezpieczona przed zwichrzeniem

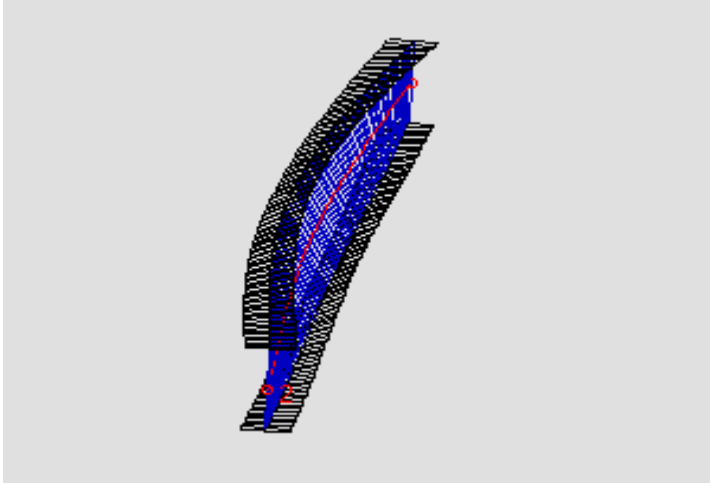


Kroki	Obliczenia
Obciążenie belki w warunkach pożarowych: 15,0kN/m Siły wewnętrzne w warunkach pożarowych: Moment zginający: 33,1kNm Siła tnąca: 31,5kN Klasa przekroju w warunkach pożarowych: 1 	$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$ $12,0 \text{ kN/m} + 0,5 \cdot 6,0 \text{ kN/m} = 15,0 \text{ kN/m}$ $M_{fi,Ed} = \frac{q_{fi,Ed} L^2}{8} = \frac{15,0 \cdot 4,2^2}{8} = 33,1 \text{ kNm}$ $V_{fi,Ed} = \frac{q_{fi,Ed} L}{2} = \frac{15,0 \cdot 4,2}{2} = 31,5 \text{ kN}$ $\varepsilon = 0,85 \sqrt{235/f_y} = 0,85 \sqrt{235/235} = 0,85$ $\frac{c}{t} = \frac{h - 2t_f - 2r}{t_w} = \frac{300 - 2 \cdot 10,7 - 2 \cdot 15}{7,1} = 35,01 < 72\varepsilon = 61,2$ $\frac{c}{t} = \frac{b_f - t_w - 2r}{2t_f} = \frac{150 - 7,1 - 2 \cdot 15}{2 \cdot 10,7} = 5,27 < 9\varepsilon = 7,65$

Kroki

Uwzględnienie możliwości zwichrzenia belki:

Moment krytyczny: **122,2kNm**



Współczynnik zwichrzenia
(zmniejszający nośność belki): **0,44**

Obliczenia

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(k_z L)^2} \left(\sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 G I_T}{\pi^2 E I_z} + (C_2 z_g)^2} - C_2 z_g \right)$$

$$M_{cr} = 1,132 \frac{\pi^2 21000 \cdot 604,0}{(1,0 \cdot 420)^2}$$

$$\left(\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0} \right)^2 \frac{126332}{604} + \frac{(1,0 \cdot 420)^2 8100 \cdot 19,9}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 604}} + (0,459 \cdot 15)^2 - 0,459 \cdot 15 \right)$$

$$M_{cr} = 803 \cdot (\sqrt{209 + 227 + 47,4} - 6,89) = 12213 \text{ kNcm} = 122,2 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{557,1 \cdot 23,5}{12220}} = 1,03 \quad \bar{\lambda}_{LT,\theta} = \bar{\lambda}_{LT} \sqrt{k_{y,\theta} / k_{E,\theta}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta} = 1,03 \sqrt{1/1} = 1,03 \quad \alpha = 0,65 \sqrt{235/f_y} = 0,65$$

$$\phi_{LT,\theta} = \frac{1}{2} [1 + \alpha \bar{\lambda}_{LT,\theta} + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2] = \frac{1}{2} [1 + 0,65 \cdot 1,03 + 1,03^2] = 1,37$$

$$\chi_{LT,\theta} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta} + \sqrt{(\phi_{LT,\theta})^2 - (\bar{\lambda}_{LT,\theta})^2}} = \frac{1}{1,37 + \sqrt{(1,37)^2 - (1,03)^2}} = 0,44$$

Kroki	Obliczenia
Stopień wykorzystania nośności na początku pożaru: 51% Ustalenie temperatury krytycznej. (metoda iteracyjna) I iteracja: $\theta_a = 550,0^{\circ}\text{C}$ ($550,0^{\circ}\text{C} < 581,0^{\circ}\text{C}$) Stopień wykorzystania nośności belki gdy osiągnie $550,0^{\circ}\text{C}$: 97% $\approx$ 100% Temperatura krytyczna wynosi 550°C.	$\mu_0 = \frac{M_{fi,Ed}}{M_{b,fi,\theta,Rd}} = \frac{33,1}{65,0} = 0,51$ $\theta_{a,1} = 39,19 \ln \left[\frac{1}{0,9674 \cdot 0,51^{3,833}} - 1 \right] + 482 = 581,0^{\circ}\text{C}$ Komentarz: Powyższa temperatura nie jest krytyczną, ale ułatwi jej znalezienie. Element narażony jest na zwichrzenie. Temperatura krytyczna jest niższa. $\bar{\lambda}_{LT,\theta} = \bar{\lambda}_{LT} \sqrt{k_{y,\theta}/k_{E,\theta}} = 1,03 \sqrt{\frac{0,625}{0,455}} = 1,21$ $\phi_{LT,\theta} = \frac{1}{2} [1 + \alpha \bar{\lambda}_{LT,\theta} + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2] = \frac{1}{2} [1 + 0,65 \cdot 1,21 + 1,21^2] = 1,63$ $\chi_{LT,\theta} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta} + \sqrt{(\phi_{LT,\theta})^2 - (\bar{\lambda}_{LT,\theta})^2}} = \frac{1}{1,63 + \sqrt{(1,63)^2 - (1,21)^2}} = 0,37$ $M_{b,fi,\theta,Rd} = 0,37 \frac{0,625 \cdot 628,4 \cdot 23,5}{1,0} = 3415,0 \text{ kNcm} = 34,1 \text{ kNm}$

Kroki

Wskaźnik ekspozycji przekroju dla przekroju IPE 300 niezabezpieczonego ogarniętego pożarem z 3 stron:

$$k_{sh} A_m/V = 125 [1/m]$$

Czas odporności ogniowej z interpolacji liniowej:

Po 13 minutach:

$$100 \text{ 1/m} - 503 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$125 \text{ 1/2} - x \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$200 \text{ 1/m} - 641 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$x = 538,0 \text{ }^{\circ}\text{C} < 550 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Po 14 minutach:

$$100 \text{ 1/m} - 535 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$125 \text{ 1/2} - x \text{ }^{\circ}\text{C}$$

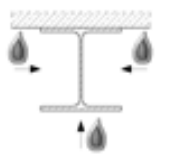
$$200 \text{ 1/m} - 663 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$x = 567,0 \text{ }^{\circ}\text{C} > 550 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Czas odporności ogniowej wynosi

13 minut.

Obliczenia

	Przekrój niezabezpieczony	
		
Przekrój		
IPE	3 stron	4 stron
	$k_{sh} A_m/V$	
IPE A 300	144	173
IPE 300	125	151
IPE O 300	109	131

Czas [min]	10 [m ⁻¹]	15 [m ⁻¹]	20 [m ⁻¹]	25 [m ⁻¹]	30 [m ⁻¹]	40 [m ⁻¹]	60 [m ⁻¹]	100 [m ⁻¹]	200 [m ⁻¹]	300 [m ⁻¹]	400 [m ⁻¹]
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
1	21	22	23	24	24	26	29	34	48	61	73
2	25	27	29	31	33	38	46	62	100	133	162
3	29	33	37	41	45	53	68	97	161	214	259
4	33	40	46	52	59	71	94	136	226	296	351
5	39	48	57	65	74	90	122	178	291	373	430
6	45	57	68	79	90	111	151	221	354	441	494
7	51	66	80	94	108	133	181	265	413	498	545
8	58	76	93	110	126	156	213	308	466	545	584
9	65	86	106	126	144	180	245	351	512	583	615
10	73	97	120	142	164	204	277	392	552	614	640
11	80	108	134	159	183	229	309	432	587	640	660
12	88	119	149	177	204	253	340	469	616	662	678
13	97	131	164	195	224	278	372	503	641	680	693
14	105	143	179	213	244	303	402	535	663	695	705
15	114	155	194	231	265	328	432	565	682	708	716

Przykład doboru zabezpieczenia przeciwogniowego dla 4-ro metrowej belki o przekroju IPE 300, która jest elementem podpierającym strop w obiekcie biurowym. Belka jest zabezpieczona przed zwichrzeniem. Wymagana nośność ogniowa R60.

Dane:

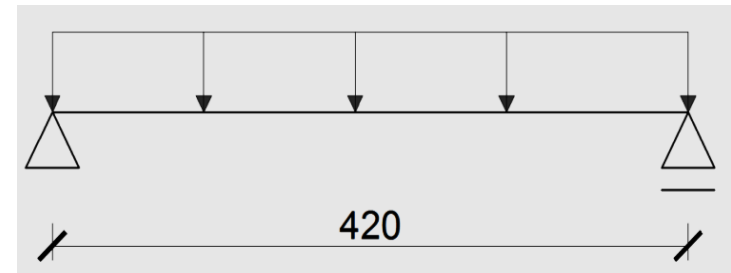
obciążenie stałe belki w warunkach pożarowych z uwzględnieniem ciężaru własnego wynosi 6kN/m, a zmienne 12kN/m

stal S235JR o $f_y = 235$ MPa

$\gamma_{M0} = 1,0$, $\gamma_{M,fi} = 1,0$

długość belki w świetle ścian wynosi 4,0 m

rozpiętość obliczeniowa belki: 4,2m



belka znajduje się w obiekcie biurowym i ma przekrój IPE 300

- belka jest zabezpieczona przed zwichrzeniem

Przyjęto dwa warianty zabezpieczenia: konturowe farbą pęczniejącą, skrzynkowe płytą gipsową.

Kroki	Obliczenia
Obciążenie belki w warunkach pożarowych: 15,0kN/m Siły wewnętrzne w warunkach pożarowych: Moment zginający: 33,1kNm Siła tnąca: 31,5kN Klasa przekroju w warunkach pożarowych: 1 	$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$ $12,0 \text{ kN/m} + 0,5 \cdot 6,0 \text{ kN/m} = 15,0 \text{ kN/m}$ $M_{fi,Ed} = \frac{q_{fi,Ed} L^2}{8} = \frac{15,0 \cdot 4,2^2}{8} = 33,1 \text{ kNm}$ $V_{fi,Ed} = \frac{q_{fi,Ed} L}{2} = \frac{15,0 \cdot 4,2}{2} = 31,5 \text{ kN}$ $\varepsilon = 0,85 \sqrt{235/f_y} = 0,85 \sqrt{235/235} = 0,85$ $\frac{c}{t} = \frac{h - 2t_f - 2r}{t_w} = \frac{300 - 2 \cdot 10,7 - 2 \cdot 15}{7,1} = 35,01 < 72\varepsilon = 61,2$ $\frac{c}{t} = \frac{b_f - t_w - 2r}{2t_f} = \frac{150 - 7,1 - 2 \cdot 15}{2 \cdot 10,7} = 5,27 < 9\varepsilon = 7,65$

Kroki

Dobór grubości zabezpieczenia:
Grubość farby dobrano na podstawie odpowiedniej aprobaty dla wskaźnika masywności $U/A = A_p/V = 188 \text{ 1/m}$, profilu otwartego oraz temperatury krytycznej równej $710,6^\circ\text{C}$. Przyjęto grubość warstwy pęczniejącej równą **1,022mm**.

Obliczenia

Klasa odporności ogniowej R 60 – profile otwarte

U/A m ⁻¹	Minimalne grubości warstwy pęczniejącej z farby FLAME STAL Fire Proof Solvent ^{*)} , mm, dla temperatury krytycznej stali, °C																
	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
≤ 67	0,980	0,930	0,883	0,839	0,797	0,757	0,719	0,683	0,649	0,617	0,586	0,556	0,528	0,500	0,475	0,450	
68÷70	1,020	0,969	0,922	0,876	0,834	0,793	0,754	0,718	0,683	0,650	0,618	0,588	0,559	0,532	0,505	0,480	
71÷80	1,138	1,085	1,034	0,987	0,941	0,899	0,858	0,820	0,783	0,748	0,715	0,683	0,653	0,624	0,596	0,570	
81÷90	1,237	1,181	1,128	1,079	1,032	0,987	0,945	0,905	0,867	0,831	0,796	0,763	0,731	0,701	0,672	0,644	
91÷100	1,320	1,263	1,208	1,157	1,109	1,063	1,019	0,977	0,938	0,900	0,865	0,830	0,798	0,766	0,737	0,708	
101÷110	1,392	1,333	1,277	1,224	1,174	1,127	1,082	1,040	0,999	0,960	0,924	0,888	0,855	0,823	0,792	0,762	
111÷120	1,455	1,394	1,337	1,283	1,232	1,183	1,137	1,094	1,052	1,013	0,975	0,939	0,904	0,872	0,840	0,810	
121÷130	1,510	1,448	1,389	1,334	1,282	1,233	1,186	1,141	1,099	1,058	1,020	0,983	0,948	0,914	0,882	0,851	
131÷140	1,558	1,495	1,436	1,380	1,326	1,276	1,228	1,183	1,140	1,099	1,060	1,022	0,986	0,952	0,920	0,888	
141÷150	–	1,537	1,477	1,420	1,366	1,315	1,266	1,220	1,176	1,135	1,095	1,057	1,021	0,986	0,953	0,921	
151÷160	–	1,575	1,514	1,456	1,401	1,350	1,300	1,254	1,209	1,167	1,127	1,088	1,051	1,016	0,982	0,950	
161÷170	–	–	1,547	1,489	1,433	1,381	1,331	1,284	1,239	1,196	1,155	1,116	1,079	1,043	1,009	0,977	
171÷180	–	–	1,578	1,518	1,462	1,409	1,359	1,311	1,266	1,222	1,181	1,142	1,104	1,068	1,034	1,001	
181÷190	–	–	–	1,545	1,489	1,435	1,384	1,336	1,290	1,246	1,205	1,165	1,127	1,090	1,056	1,022	
191÷200	–	–	–	1,570	1,513	1,459	1,407	1,359	1,312	1,268	1,226	1,186	1,148	1,111	1,076	1,042	
201÷210	–	–	–	1,592	1,535	1,480	1,429	1,379	1,333	1,288	1,246	1,205	1,167	1,130	1,094	1,060	
211÷220	–	–	–	–	1,555	1,500	1,448	1,399	1,352	1,307	1,264	1,223	1,184	1,147	1,111	1,077	
221÷230	–	–	–	–	1,574	1,519	1,466	1,416	1,369	1,324	1,281	1,240	1,201	1,163	1,127	1,093	
231÷240	–	–	–	–	1,591	1,536	1,483	1,433	1,385	1,340	1,296	1,255	1,216	1,178	1,142	1,107	
241÷250	–	–	–	–	–	1,552	1,498	1,448	1,400	1,354	1,311	1,269	1,230	1,192	1,155	1,120	
251÷260	–	–	–	–	–	1,566	1,513	1,462	1,414	1,368	1,324	1,283	1,243	1,204	1,168	1,133	
261÷270	–	–	–	–	–	1,580	1,526	1,475	1,427	1,381	1,337	1,295	1,255	1,216	1,180	1,145	
271÷280	–	–	–	–	–	1,593	1,539	1,488	1,439	1,393	1,349	1,306	1,266	1,228	1,191	1,155	
281÷286	–	–	–	–	–	1,600	1,546	1,495	1,446	1,400	1,355	1,313	1,273	1,234	1,197	1,162	
286÷290	–	–	–	–	–	–	1,551	1,500	1,451	1,404	1,360	1,317	1,277	1,238	1,201	1,166	
291÷300	–	–	–	–	–	–	1,562	1,510	1,461	1,415	1,370	1,328	1,287	1,248	1,211	1,175	
301÷310	–	–	–	–	–	–	1,573	1,521	1,471	1,425	1,380	1,337	1,296	1,257	1,220	1,184	
311÷319	–	–	–	–	–	–	1,582	1,530	1,480	1,433	1,388	1,345	1,304	1,265	1,228	1,192	

^{*)} po wyschnięciu

Kroki

Zabezpieczenie płytą gipsową o grubości 15mm i przewodności cieplnej $\lambda_p = 0,2 \text{ W/(mK)}$

Po 60 minutach:

1500 – 578 °C

1853 – x °C

2000 – 650 °C

x = 629 °C < 710 °C

Zabezpieczenie płytą gipsową o grubości 15mm gwarantuje R60.

Zabezpieczenie płytą gipsową o grubości 15mm gwarantuje R60.

Obliczenia

$$\frac{A_p}{V} \frac{\lambda_p}{d_p} = 139 \cdot \frac{0,2}{0,015} = 18533 \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^3 \text{K}} \right]$$

Czas [min]	100 [$\frac{\text{W}}{\text{m}^3 \text{K}}$]	200 [$\frac{\text{W}}{\text{m}^3 \text{K}}$]	300 [$\frac{\text{W}}{\text{m}^3 \text{K}}$]	400 [$\frac{\text{W}}{\text{m}^3 \text{K}}$]	600 [$\frac{\text{W}}{\text{m}^3 \text{K}}$]	800 [$\frac{\text{W}}{\text{m}^3 \text{K}}$]	1000 [$\frac{\text{W}}{\text{m}^3 \text{K}}$]	1500 [$\frac{\text{W}}{\text{m}^3 \text{K}}$]	2000 [$\frac{\text{W}}{\text{m}^3 \text{K}}$]
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	24	27	31	35	41	48	55	71	86
10	29	38	46	54	70	85	100	133	164
15	35	49	62	75	100	123	145	194	237
20	41	61	79	97	130	160	189	251	305
25	47	72	96	118	159	197	231	305	366
30	54	84	113	140	188	232	271	354	421
35	60	97	130	161	216	266	309	400	470
40	67	109	147	181	244	298	346	442	514
45	74	121	163	202	270	329	380	481	554
50	80	133	179	222	296	359	413	516	589
55	87	145	196	241	321	387	443	549	621
60	94	156	211	261	345	414	472	578	650
65	100	168	227	279	368	440	499	606	676
70	107	180	242	298	391	465	525	631	699
75	114	191	258	316	412	488	549	655	717
80	120	202	273	333	433	510	571	676	729
85	127	214	287	350	453	531	592	695	735
90	134	225	302	367	472	552	612	712	742

Bibliografia

- [1] Biegus A. (2014), *Podstawy projektowania i oddziaływania na konstrukcje budowlane*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 130s.
- [2] Bródka J., Broniewicz M. (2010), *Projektowanie konstrukcji stalowych wg Eurokodów*, *Materiały szkoleniowe*, Polskie Wydawnictwo Techniczne, 537s.
- [3] Franssen J.-M., Real P. (2010), *Fire Design of Steel Structures*, European Convention for Constructional Steelwork, 428s.
- [4] Maślak M. (2008), *Trwałość pożarowa stalowych konstrukcji prętowych*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 203s.
- [5] Aprobata techniczna ITB AT-15-7324/2007
- [6] Turkowski P. i Sulik P., *Projektowanie konstrukcji stalowych z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 3*, Warszawa, Instytut Techniki Budowlanej, 2015, str. 152.

Bibliografia

- [7] PN-EN 1990 Eurokod 0: Podstawy projektowania konstrukcji.
- [8] PN-EN 1991-1-2 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-2: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru.
- [9] ENV 1993-1-1 Eurocode 3: Design of steel structures. General rules and rules for buildings.
- [10] PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [11] PN-EN 1993-1-2 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-2. Reguły ogólne. Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe.



Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Pożarnictwa, Oddział Leszno
Komenda Powiatowa PSP w Kościanie.
J.P.PROJEKT Jacek Podyma Poznań



Opracował:
Mgr inż. Łukasz **POLUS**